

16. Шифрин, Б.М. Моделирование взаимодействия пневматика с дорожным покрытием [Текст]/Б.М. Шифрин// Держ. льотна академія України.-Кіровоград, 2007.-14с. –Укр.-Деп. в ДНТБ України 16.04.07, №22-Ук2007. Реф. В РЖ «Депоновані наукові роботи» 2007, №1-2.
17. Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний[Текст]/В.Л. Бидерман// М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
18. Боголюбов, Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний [Текст]/Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский//М.: ГИФМЛ, 1963.- 412 с.
19. Бидерман, В.Л. Нестационарное качение пневматической шины [Текст]/ В.Л. Бидерман, В.В. Шумаев//Известия Вузов, Машиностроение. – 1977. - №12. - С. 85-90.
20. Журавлев, В.Ф. О модели сухого трения в задаче качения твердых тел/ В.Ф. Журавлев// ПММ. – 1998. – Т.62, вып. 5. – С.762-767.

*Приведені загальні напрями дослідження процесу адгезійної взаємодії фізичних явищ, які супроводжують процес різання. Описані основні механізми дії адгезійної взаємодії на фізичні явища і взаємозв'язок між явищами на основі адгезії, а також подальші напрями дослідження цих процесів*

*Ключові слова: адгезія, глибоке свердлення, фізичні явища, процес різання*

*Приведены общие направления исследования процесса адгезионного взаимодействия физических явлений, которые сопровождают процесс резания. Описаны основные механизмы действия адгезионного взаимодействия на физические явления и взаимосвязь между явлениями на основе адгезии, а также дальнейшие направления исследования этих процессов*

*Ключевые слова: адгезия, глубокое сверление, физические явления, процесс резания*

*The general directions of adhesive contact of the physical phenomena process research, accompany the cutting process are presented. The basic mechanisms of adhesive contact action in the physical phenomena and intercommunication between the phenomena on the basis of adhesion and also the further directions of these processes research are described*

*Keywords: adhesion, deep boring, physical phenomena, cutting process*

УДК 621.91

# ЩОДО ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ АДГЕЗІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В УМОВАХ ГЛИБОКОГО СВЕРДЛЕННЯ

В.П. Маршуба

Кандидат технічних наук, доцент\*  
Контактний тел.: 095-669-78-19

О.В. Чернякова

Аспірант, асистент\*  
Контактний тел.: 066-207-85-50

І.Б. Плахотнікова

Старший викладач\*  
Контактний тел.: (057) 702-05-11

\*Кафедра поліграфічного виробництва і комп'ютерної графіки

Українська інженерно-педагогічна академія  
вул. Університетська 16, м. Харків, Україна, 61003

## 1. Актуальність

Процесу різання різноманітних матеріалів в теперішній час приділяється досить велика увага, тому що постійно з'являються новітні матеріали, які потребують нового підходу щодо їх обробки, з-за того, що ці матеріали суттєво відрізняються від вже існуючих фізико-механічними властивостями. Тому новітні матеріали частенько не можуть оброблятися вже існуючими конструкціями ріжучих інструментів та реко-

мендованими для цього режимами різання. Крім того, по мірі розвитку суспільства, виникає необхідність збільшити продуктивність основного виробництва, що призводить до зростання застосованих режимів різання, тоді як конструкції існуючого ріжучого інструменту вже здебільшого не задовольняють появу нових вимог.

Новий підхід до розглядання цього питання передбачає рішення декілька напрямків цієї проблеми: тобто створення принципово нових конструкцій ріжучих

інструментів, з урахуванням нових фізико-механічних властивостей матеріалу, що обробляється; застосування інших марок інструментального матеріалу з відмінними властивостями, у порівнянні з тими що існують зараз; оптимізація режимів різання щодо окремих матеріалів або груп матеріалів зі східними фізико-механічними властивостями; створення напрямку дослідження фізичних явищ, що супроводжують процес різання, у світлі переходу розглядання цього питання на принципово новому рівні з урахуванням всього комплексу взаємодій фізичних явищ, які виникають, супроводжують процес різання, та впливають одно на інше, як на макрорівні, так і мікро рівні.

В цій статті розглядається питання адгезійної природи взаємодії інструментального матеріалу та того, що оброблюється, в умовах обробки глибоких отворів. Це питання відноситься до одного з багатьох, яке характеризує процес різання, та суттєво впливає на нього. Адгезійна взаємодія інструментального матеріалу та того, що оброблюється, викликає дію декілька супутніх фізичних явищ, які супроводжують процес різання різноманітних матеріалів. Так наприклад, на контактних поверхнях спіральних свердел при свердлуванні глибоких отворів, це явище призводить до циклічних навантажень, дестабілізує сили різання і момент, що крутить, температуру і коефіцієнт тертя в зоні контакту, а також інші фізичні параметри процесу різання, сприяє виникненню наростів оброблюваного матеріалу на передній поверхні ріжучого інструменту, втомної напруги в ньому і відриву мікро- і макрочасток інструментального матеріалу з передньої та задньої поверхні свердла. Все це призводить до небажаних наслідків в процесі обробки, так наприклад: руйнуванню або раптовому відмовленню ріжучого інструменту; до появи браку готової продукції; як слід, великих затрат на виготовлення даного виду продукції, тому необхідно більш ретельне дослідження цього питання у світлі проведення останніх експериментів різними дослідниками та напрямків розвитку сучасної науки.

---

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

---

Питанням дослідження адгезійної природи взаємодії інструментального матеріалу та того, що оброблюється, в умовах процесу різання різноманітних матеріалів та різних видах обробки приділялась досить велика увага.

В ході пошукових досліджень та літературного аналізу було виявлено, що із-за обмеженого проникнення ЗОТС (змащувально-охолоджувального технологічного середовища) в зону різання, що підтверджується роботами А.К. Синельщикова і Г.В. Філіппова [1] та іншими, і у міру збільшення глибини отвору, підвищується сила тертя між поверхнями отвору, що обробляється, інструментом і стружкою. Це явище сприяє підвищенню температури в зоні різання, зростанню впливу сил адгезії між матеріалами інструменту і заготовки, виникненню задирів на стінках отвору і збільшенню активності процесу наростування на контактних поверхнях свердла. Все вище згадане призводить до того, що при обробці адгезійно активних матеріалів, досягши ледве тільки глибини отвору 3,5...4d, відбувається масовий відрив наростів від контактних поверхонь свердла.

Розглянутий процес зростає до частоти 3000...4000 раз на хвилину. Масовий відрив часток наросту в умовах досить великих температур та питомого контактного тиску призводить до схоплювання його із стружкою, після чого утворюються локальні ущільнення, що веде до подальшої появи ознак локалізації процесу та зростання розмірів локальних ущільнень. Отримана під час локалізації грудка ущільнюється в стружковому каналі свердла, і починається процес пакетування стружки [2] в стружкових канавках ріжучого інструменту.

У технічній літературі з питань впливу фізичних явищ на процес різання матеріалів при обробці глибоких отворів в різноманітних матеріалах, також видано небагато робіт комплексного характеру, оскільки об'єм досліджень, необхідний для вивчення взаємозв'язку і впливу усіх явищ одного на інше, дуже великий. Тому серед великого об'єму наукових видань, що призначені дослідженню питання впливу фізичних явищ на процес різання, в основному є роботи, які присвячені або дії окремих явищ, або де яким з них (наприклад: виникнення, зростання і зрив наростів з різальних кромок; адгезійна взаємодія інструментального і оброблюваного матеріалів; контактна напруга і температура на ГРО (головна різальна окрайка) в зоні різання; роль ЗОТС в процесі різання і її проникаюча здатність та ін.). Але усі ці явища розглянуті або в процесі вільного різання, або без зв'язку з процесом обробки металів різанням, тобто автори цих дослідницьких робіт вирішували питання обробки глибоких отворів в дуже вузьких рамках, незважаючи на розроблені численні методики і способи вивчення того, або іншого впливу фізичного явища, яке виникає в процесі різання різноманітних матеріалів.

Крім того ці роботи видані досить давно, або містять тільки окрему інформацію стосовно одного виду обробки, або відносяться до обробки тільки окремого типу матеріалів. Тому розглядання цього питання в світлі загального процесу взаємодії фізичного явища на процес різання при обробці різноманітних матеріалів, має дуже великий вплив. Це питання, яке розглянуто в загальному вигляді, дає можливість знайти нові підходи до проектування принципово нових конструкцій ріжучого інструменту, застосування оптимізованих режимів різання щодо окремих груп матеріалів та інше.

---

## 3. Цілі статті

---

Розглядання питання адгезійної природи взаємодії інструментального матеріалу та того, що оброблюється, в умовах обробки глибоких отворів та визначення основних напрямків дослідження цього питання з урахуванням широкої зміни фізико-механічних властивостей нових видів матеріалів, що обробляються. Пропонування нових напрямків вивчення фізичних явищ, що виникають, супроводжують та впливають одне на інше при дослідженні процесу різання різноманітних матеріалів.

---

## 4. Виклад основного матеріалу дослідження

---

Розглянемо ряд питань у світлі питань адгезійної взаємодії, що пов'язані з дією фізичних явищ, які ви-

никають, супроводжують процес різання та впливають одне на інше, при обробці різноманітних матеріалів за порядком вказаним раніше. На думку авторів це пов'язано з дією декілька фізичних явищ:

1. По існуючим уявленням на цей час, циклічні навантаження виникають під дією двох фізичних явищ: по-перше, це процес утворення елементів стружки, або процес вимушених коливань, що супроводжують процес різання; по-друге, поява і руйнування «містків схоплювання», які утворюються при взаємодії інструментального матеріалу, та того, що оброблюється.

Перша причина утворення циклічних навантажень дуже добре відома, тоді як інша, менш відома, не дивлячись на те, що розглянута досить давно. Тому розглянемо насамперед тільки другу причину.

Циклічні навантаження, які утворені за рахунок дії такого фізичного явища, як адгезійна взаємодія і викликаються появою та руйнуванням так званих «містків схоплювання». Згідно з існуючими уявленнями про адгезійну взаємодію твердих тіл на утворення і руйнування «містків схоплювання» основний вплив чинять фізико-механічні властивості матеріалів, нормальна напруга і температура в зоні контакту. Для різних твердих тіл встановлений і експериментально підтверджений [3] біноміальний закон адгезійного тертя, згідно з яким тангенціальна міцність адгезійного зв'язку ( $\tau_a$ ):

$$\tau_a = \tau_0 + \beta p,$$

де  $\tau_0$  - опір адгезійного зв'язку, що зрушує;  $p$  - фактичний контактний тиск (нормальна напруга в зоні контакту);  $\beta$  - коефіцієнт зміцнення адгезійного зв'язку. Параметри  $\tau_0$  і  $\beta$  є функцією температури в зоні контакту за даними роботи [3].

Тангенціальна міцність адгезійного зв'язку на контактних поверхнях інструменту визначається тоді, якщо відомі закономірності опору, що зрушує і значення коефіцієнта зміцнення зв'язку залежності від температури. Для їх визначення використовують отримані емпіричні залежності  $\tau_a = f(p)$ , що отримані дослідницьким шляхом при різних температурах. Коефіцієнт зміцнення адгезійного зв'язку  $\beta$  як відношення приросту  $\tau_a$ , до приросту  $p$ :

$$\beta = \Delta \tau_a / \Delta p.$$

Опір, що зрушує  $\tau_0$  при різних температурах визначали екстраполяцією залежностей  $\tau_a = f(p)$ , на нормальну нульову напругу:

$$\tau_0 = \tau_a, \rightarrow \text{при } p = 0.$$

Таким чином, поява та руйнування «містків схоплювання» під дією адгезійної взаємодії інструментального матеріалу та того, що обробляється, викликає циклічні навантаження, так як поява містків під дією підвищеної температури та адгезійної взаємодії викликає зростання напруження в зоні різання, тоді як їх руйнування викликає деяке зниження цього навантаження. Відтак, якщо поява містків та їх руйнування викликає зростання, тоді їх зникнення - зниження напруження по часу, звідти і виникає пе-

ріодичність навантаження або їх циклічність. Так як значення навантаження циклічно зростає, то це призводить і зростання дії сили різання та моменту, що крутить, причому зростання останніх також відбувається циклічно. Це відбувається за рахунок приросту сили різання та моменту, що крутить необхідного для подолання виниклих перешкод у вигляді «містків схоплювання», які з'явилися. Зниження приросту сили різання та моменту, що крутить відбувається у той момент, коли «містки схоплювання» зрізуються або руйнуються.

Запропоновані стандартами міри для подолання негативного наслідку сукупності дії цих явищ у вигляді полірування передніх поверхонь, нанесення зносостійких покриттів на робочу частину інструментів дають тільки часткове рішення цієї проблеми, тобто необхідно продовжити пошукові експерименти для подолання негативних наслідків цих причин. Одним з рішень направлених на подолання негативного наслідку цієї проблеми є застосування оптимальних геометричних параметрів та конструктивних елементів ріжучих інструментів з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу, що обробляється, або невеликої групи матеріалів східних по своїм властивостям.

Пов'язування дії цих двох суперечливих причин в єдине ціле, при розгляданні впливу фізичних явищ на процес різання, досить в повному обсязі не виконував ніхто, так як ця спроба передбачає дуже великий об'єм експериментальних досліджень та викликає досить великі фінансові затрати, необхідні для придбання сучасного обладнання, великої кількості зразків з новітніх матеріалів, та часу для проведення значної кількості опитів. Тому на сучасний час передбачається застосування лиш півзаходів для подолання негативного впливу, який розглянуто вище.

Використання сучасних досягнень дуже обмежено по причині того, що зарубіжні виробники інструменту, посилячись на комерційну таємницю, не розголошують основні свої досягнення, що з'явилися за останній час, а лише констатують факт, що для подолання перешкод, що виникли в процесі різання різноманітних матеріалів, необхідно застосовувати різні інструменти, як за конструкцією, так і з різними геометричними параметрами, що співпадає з думкою авторів.

2. Інша проблема при обробці глибоких отворів пов'язана з другим фізичним явищем – наростами, які виникають, зростають та зриваються з передніх та задніх поверхонь ріжучого інструменту зі швидкістю до 4000 раз за хвилину, в процесі різання матеріалу. Нарости виникають в умовах дії високих температур і великої контактної напруги. Крім того, поява наростів, також пов'язана з інтервалом швидкостей різання, в якому працюють ріжучі інструменти з швидкоріжучої сталі (при великих швидкостях різання нарости не з'являються). Тому в процесі глибокого свердління швидкоріжучими інструментами часто по інтенсивності появи наростів судять про адгезійну взаємодію інструментального і оброблюваного матеріалів. Оскільки нарости виникають в результаті не лише адгезійної, але і механічної взаємодії (при заклинюванні невеликих об'ємів приконттактного шару металу в мікро нерівностях поверхні

інструменту), це призводить до помилкових висновків по долі адгезійної взаємодії в силі різання. Крім того процес появи та зриву наростів також мінливий, так як залежить від дії багатьох факторів (режими різання, фізико-хімічні властивості контактних матеріалів та інше), тому необхідно більш детально розглянути цей процес з точки зору адгезійної взаємодії. Крім того дія цього фізичного явища дуже впливає на зростання значення сили різання та моменту, що крутить.

На основі кількісної оцінки дії сил адгезійної і механічної взаємодії можна встановити причину утворення наросту на контактних поверхнях різального інструменту та застосувати дійсні міри на подолання цього недоліку.

3. Як відомо, адгезійна взаємодія інструментального і оброблюваного матеріалу є одним з чинників, що впливає на стійкість різального інструменту. То для встановлення впливу дії сил адгезії на знос різального інструменту, необхідно виявити закономірності зміни тангенціальної міцності адгезійного зв'язку, так як стійкість інструменту з швидкоріжучої сталі визначається, зносом по задній поверхні головних різальних окrajок і перемички. У свою чергу при визначенні величини сили адгезійної взаємодії по задній поверхні інструменту, їх розраховували, використовуючи приведені в статті [4] дані про закономірність зміни середньої нормальної напруги на контактних майданчиках, температури різання, а також встановлених закономірностей зміни параметрів адгезійної взаємодії  $\tau$  і  $\beta$ .

Розрахована тангенціальна міцність адгезійною зв'язку на задніх поверхнях ріжучого інструменту матиме деяке середнє значення, оскільки нормальні напруження на контактних майданчиках змінюється за експоненціальному законом та її міцність розпоширена по всій площині майданчика. Тому нормальна напруга на задній поверхні інструменту має найбільше значення поблизу різальної кромки і на ділянці контактного майданчика буде максимальна тангенціальна міцність адгезійного зв'язку.

Форма епюри нормальної напруги мало змінюється від умов обробки [5], тому можна вважати, що зміна середнього значення тангенціальної міцності адгезійного зв'язку  $\tau_0$  залежно від швидкості різання відбиватиме зміну сили адгезійної взаємодії на контактній поверхні майданчику.

На міцність адгезійного шва чинять вплив два чинники: його теплове раз зміцнення і деформаційне зміцнення під дією нормальних напруги.

### Висновки

1. В статті розглянуті тільки основні напрямки досліджень впливу фізичних явищ, що виникають, супроводжують та впливають на процес різання, а саме тільки ті, в основі дії яких є адгезійна вза-

ємодія інструментального матеріалу та того, що обробляється, дослідження яких виконувалось на макрорівні.

2. Розглянуті вище питання, щодо дії фізичних явищ в процесі різання на підставі впливу адгезійної взаємодії на силу різання та момент, що крутить, які розглянуті на макрорівні, необхідно на думку авторів, також розглядати та вирішувати ще і на мікро рівні, що на цей час практично не виконувалось. Так по окремим науковим статтям до цієї проблеми вчені тільки починають підступати.

3. Поєднання мікро- та макрорівня досліджень впливу фізичних явищ на силу різання та момент, що крутить, на думку автора призведе до значного прориву в області конструювання та використання нових конструкцій ріжучого інструменту при обробці новітніх матеріалів, застосування збільшених режимів різання на межах міцності існуючого інструменту та застосування різноманітних свердел нових конструкцій з новими конструкційними матеріалами зі збільшеними режимами різання та підвищеною продуктивністю та інше.

4. Визначення впливу фізичних явищ на силу різання та момент, що крутить на підставі адгезійної взаємодії лиш на мікрорівні без поєднання об'єму знань, що здобуті на макрорівні, не призведе до значного прориву в рішенні цього питання, та не дозволить виробити основні напрямки рішення проблеми і розробити рекомендації щодо подолання негативних наслідків.

### Література

1. Синельщиков А.К., Филиппов Г.В. Производительная обработка отверстий длиной 3-7d спиральными сверлами. // Междунар. науч.-техн. сборник. «Современная обработка металлов резанием». - М.: - 1973, - С. 3-7.
2. Маршуба В.П., Дрожжин В.И. Повышение эффективности глубокого сверления отверстий в алюминиях на агрегатных станках и автоматических линиях спиральными сверлами малого диаметра за счет совершенствования условий отвода стружки. // Междунар. науч.-техн. сборник. «Резание и инструмент в технологических системах.» №52. - Харьков: ХГПУ. - 1997. - С. 81-87.
3. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчета на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977, 526 с.
4. Михин М.Н. Трение в условиях пластического контакта. - М.: Наука, 1968, 104 с.
5. Маршуба В.П. Адгезионное взаимодействие быстрорежущей стали с литейными алюминиевыми сплавами. // «Высокие технологии в машиностроении: тенденции развития, менеджмент, маркетинг». Труды междунар. науч.-техн. семинара 24-28 сентября 1997 г в г. Алушта. - Харьков: ХГПУ, 1997 г. С.185-187.